

# LOW DENSITY OXIDATION RESISTANT SUPERALLOY MATERIAL CAPABLE OF THERMAL BARRIER COATING RETENTION WITHOUT BOND COAT

D3

**Publication number:** JP2002167636 (A)

**Publication date:** 2002-06-11

**Inventor(s):** ZELESKY MARK F; GUPTA DINESH K; ALAN D SETEL

**Applicant(s):** UNITED TECHNOLOGIES CORP

**Classification:**

- International: C22C19/05; C23C8/12; C23C28/00; C23C28/04; F01D5/28;  
C22C19/05; C23C8/10; C23C28/00; C23C28/04; F01D5/28;  
(IPC1-7): C22C19/05; C23C8/12; C23C28/04; F01D5/28

- European: C22C19/05P5; C22C19/05P6; C23C28/00; F01D5/28F

**Application number:** JP20010330211 20011029

**Priority number(s):** US20000699945 20001030

**Also published as**

EP1201778 (A2)

EP1201778 (A3)

EP1201778 (B1)

US2005271886 (A1)

MXPA01011048 (A)

more >

## Abstract of JP 2002167636 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a low density superalloy and no bond coat thermal barrier system. **SOLUTION:** The combination of an alloy and a TBC system can be used to fabricate lightweight turbine blades with reduced blade pull. The alloy has a composition substantially consisting of, by weight, about 7 to about 13% Cr, about 4.5 to about 6.7% Al, about 0.5 to about 2% Ti, about 3 to about 12% W, about <=5% Ta, about <=15% Co, about 0.15 to about 0.5% Hf, about 0.003 to about 0.040% Y, about <=3.5% Mo, about <=1% Re, about <=0.05% C, about <=0.005% B, about <=0.05% Zr, about <=2% Nb and about <=1.5% V, and the balance substantially Ni. The P parameter calculated by the equation 1 is about <2,500.

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-167636

(P2002-167636A)

(43)公開日 平成14年6月11日 (2002.6.11)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
C 22 C 19/05  
C 23 C 8/12  
28/04  
F 01 D 5/28

識別記号

F I  
C 22 C 19/05  
C 23 C 8/12  
28/04  
F 01 D 5/28

テマコード<sup>\*</sup>(参考)  
C 3 G 0 0 2  
4 K 0 4 4

審査請求 未請求 請求項の数92 OL (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2001-330211(P2001-330211)  
(22)出願日 平成13年10月29日 (2001.10.29)  
(31)優先権主張番号 09/699945  
(32)優先日 平成12年10月30日 (2000.10.30)  
(33)優先権主張国 米国 (U.S.)

(71)出願人 590005449  
ユナイテッド テクノロジーズ コーポレーション  
UNITED TECHNOLOGIES  
CORPORATION  
アメリカ合衆国, コネチカット 06101,  
ハートフォード, ユナイテッド テクノロジーズ ビルディング  
(72)発明者 マーク エフ. ゼレスキー  
アメリカ合衆国, コネチカット, コヴェントリ, エヌ. リヴァー ロード 931  
(74)代理人 100062199  
弁理士 志賀 富士弥 (外2名)  
最終頁に続く

(54)【発明の名称】接合被覆なしに断熱被覆を保持できる低密度耐酸化性超合金材料

(57)【要約】

【課題】 低密度超合金および接合被覆のない断熱被覆系を提供する。

【解決手段】 ブレード牽引力が低下した軽量タービンブレードを形成するよう、合金およびTBC系の組み合わせを使用することができる。合金は、Cr約7~約13%、Al約4.5~約6.7%、Ti約0.5~約2%、W約3~約1.2%、Ta約5%以下、Co約1.5%以下、Hf約0.15~約0.5%、Y約0.003~約0.040%、Mo約3.5%以下、Re約1%以下、C約0.05%以下、B約0.005%以下、Zr約0.05%以下、Nb約2%以下、V約1.5%以下、残部が実質的にNi、から(重量%で)実質的に構成される組成を有し、式1により算出されるP条件値が、約2500未満である。

D3

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 Cr 約6～約13%、Al 約4.5～約7%、Ti 約0.5～約2.5%、W 約3～約12%、Ta 約1.4%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.05～約1.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約4%以下、Re 約1%以下、C 約0.1%以下、B 約0.05%以下、Zr 約0.15%以下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的にNi、から(重量%で)実質的に構成され、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により算出されるP条件値が、約2500未満を超えないことを特徴とするニッケル基超合金組成。

【請求項2】 Al+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5～11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5～17.5の範囲であることを特徴とする請求項1記載の組成。

【請求項3】 Cは約0.05%未満、Bは約0.005%未満、Zrは約0.1%未満であることを特徴とする請求項1記載の組成。

【請求項4】 Cr 約7～約13%、Al 約4.5～約7%、Ti 約1～約2%、W 約3～約11%、Ta 約1.2.5%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.05～約1.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約3.5%以下、Re 約1%以下、C 約0.1%以下、B 約0.05%以下、Zr 約0.15%以下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的にNi、から実質的に構成されることを特徴とするニッケル基超合金組成。

【請求項5】 Al+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5～11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5～17.5の範囲であることを特徴とする請求項4記載の組成。

【請求項6】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項4記載の組成。

【請求項7】 Cr 約8～約12%、Al 約4.5～約5.5%、Ti 約1～約2%、W 約3～約5%、Ta 約1.0～約1.4%、Co 約3～約7%、Hf 約0.25～約0.45%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約1%以下、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約1%以下、V 約1%以下、残部が実質的にNi、から(重量%で)実質的に構成され、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により算出されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とするニッケル基超合金組成。

【請求項8】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項7記載の組成。

【請求項9】 Cr 約7.5～約8.2%、Al 約5.45～約5.75%、Ti 約0.8～約1.2%、W 約7.6～約8.4%、Ta 約5.8～約6.2%、Co 約4.3～約4.9%、Hf 約0.15～約0.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約0.3～約0.7%、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約1%以下、V 約1%以下、残部が実質的にNi、から実質的に構成され、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により算出されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とするニッケル基超合金組成。

【請求項10】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項9記載の組成。

【請求項11】 Cr 約7～約13%、Al 約4.5～約6.7%、Ti 約0.5～約2%、W 約3～約12%、Ta 約5%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.15～約0.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約3.5%以下、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約2%以下、V 約1.5%以下、残部が実質的にNi、から(重量%で)実質的に構成され、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により算出されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とするニッケル基超合金組成。

50 【請求項12】 Cは0.05%未満、Bは0.005%

%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項1記載の組成。

【請求項13】 Cr 約6～約13%、Al 約4.5～約7%、Ti 約0.5～約2.5%、W 約3～約12%、Ta 約1.4%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.05～約1.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約4%以下、Re 約1%以下、C 約0.1%以下、B 約0.05%以下、Zr 約0.15%以下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的にNi、から構成され、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により算出されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とするニッケル基超合金物品。

【請求項14】 Al+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5～11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5～17.5の範囲であることを特徴とする請求項13記載の物品。

【請求項15】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項13記載の物品。

【請求項16】 単結晶微細構造を有することを特徴とする請求項13記載の物品。

【請求項17】 柱状微細構造を有することを特徴とする請求項13記載の物品。

【請求項18】 等軸微細構造を有することを特徴とする請求項13記載の物品。

【請求項19】 単結晶微細構造を有することを特徴とする請求項14記載の物品。

【請求項20】 柱状微細構造を有することを特徴とする請求項14記載の物品。

【請求項21】 等軸微細構造を有することを特徴とする請求項14記載の物品。

【請求項22】 Cr 約6～約13%、Al 約4.5～約7%、Ti 約0.5～約2.5%、W 約3～約12%、Ta 約1.4%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.05～約1.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約4%以下、Re 約1%以下、C 約0.1%以下、B 約0.05%以下、Zr 約0.15%以下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、

被覆表面の少なくとも一部に、耐久性のある付着性のアルミナスケールを有するニッケル基超合金物品であつて、前記組成は、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta$$

$$- 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする物品。

【請求項23】 Al+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5～11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5～17.5の範囲であることを特徴とする請求項22記載の物品。

【請求項24】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項22記載の物品。

【請求項25】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項23記載の物品。

【請求項26】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項23記載の物品。

【請求項27】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項23記載の物品。

【請求項28】 Cr 約7～約13%、Al 約4.5～約7%、Ti 約1～約2%、W 約3～約11%、Ta 約1.2.5%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.05～約1.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約3.5%以下、Re 約1%以下、C 約0.1%以下、B 約0.05%以下、Zr 約0.15%以下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、

表面の少なくとも一部に、耐久性のある付着性のアルミナスケールを有するニッケル基超合金物品であつて、前記組成は、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とするニッケル基超合金物品。

【請求項29】 Al+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5～11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5～17.5の範囲であることを特徴とする請求項28記載の物品。

【請求項30】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項28記載の物品。

【請求項31】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項28記載の物品。

【請求項32】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項28記載の物品。

【請求項33】 前記物品は等軸粒構造を有することを

特徴とする請求項28記載の物品。

【請求項34】 Cr 約8～約12%、Al 約4.5～約5.5%、Ti 約1～約2%、W 約3～約5%、Ta 約10～約14%、Co 約3～約7%、Hf 約0.25～約0.45%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約1%以下、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約1%以下、V 約1%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、表面の少なくとも一部に、耐久性のある付着性のアルミニスケールを有するニッケル基超合金物品であって、前記組成は、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 5.0OZr,$$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする物品。

【請求項35】 Al+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5～11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5～17.5の範囲であることを特徴とする請求項34記載の物品。

【請求項36】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項34記載の物品。

【請求項37】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項34記載の物品。

【請求項38】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項34記載の物品。

【請求項39】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項34記載の物品。

【請求項40】 Cr 約7.5～約8.2%、Al 約5.45～約5.75%、Ti 約0.8～約1.2%、W 約7.6～約8.4%、Ta 約5.8～約6.2%、Co 約4.3～約4.9%、Hf 約0.15～約0.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約0.3～約0.7%、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr

約0.05%以下、Nb 約1%以下、V 約1%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、表面の少なくとも一部に、耐久性のある付着性のアルミニスケールを有するニッケル基超合金物品であって、前記組成は、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 5.0OZr,$$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする物品。

【請求項41】 Al+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5～11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5～17.5の範囲であることを特徴とする請求項40記載の物品。

【請求項42】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項40記載の物品。

【請求項43】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項40記載の物品。

【請求項44】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項40記載の物品。

【請求項45】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項40記載の物品。

【請求項46】 Cr 約7～約13%、Al 約4.5～約6.7%、Ti 約0.5～約2%、W 約3～約12%、Ta 約5%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.15～約0.5%、Y 約0.003～約0.040%、Mo 約3.5%以下、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約2%以下、V 約1.5%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、表面の少なくとも一部に、耐久性のある付着性のアルミニスケールを有するニッケル基超合金物品であって、前記組成は、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 5.0OZr,$$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする物品。

【請求項47】 Al+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5～11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5～17.5の範囲であることを特徴とする請求項46記載の物品。

【請求項48】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項46記載の物品。

【請求項49】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項46記載の物品。

【請求項50】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項46記載の物品。

【請求項51】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項46記載の物品。

【請求項52】 Cr 約6～約13%、Al 約4.5～約7%、Ti 約0.5～約2.5%、W 約3～約

約1.2%、Ta 約1.4%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.05~約1.5%、Y 約0.003~約0.040%、Mo 約4%以下、Re 約1%以下、C 約0.1%以下、B 約0.05%以下、Zr 約0.15%以下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、

表面の少なくとも一部に耐久性のある付着性のアルミニナスケールを有し、さらに、この耐久性のある付着性のアルミニナスケールに付着したセラミック断熱被覆を有するニッケル基超合金物品であって、前記組成は、式1：  
 $P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする物品。

【請求項5 3】 A1+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5~11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5~17.5の範囲であることを特徴とする請求項5 2記載の物品。

【請求項5 4】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項5 2記載の物品。

【請求項5 5】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項5 2記載の物品。

【請求項5 6】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項5 2記載の物品。

【請求項5 7】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項5 2記載の物品。

【請求項5 8】 Cr 約7~約13%、Al 約4.5~約7%、Ti 約1~約2%、W 約3~約11%、Ta 約12.5%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.05~約1.5%、Y 約0.003~約0.040%、Mo 約3.5%以下、Re 約1%以下、C 約0.1%以下、B 約0.05%以下、Zr 約0.15%以下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、

表面の少なくとも一部に耐久性のある付着性のアルミニナスケールを有し、さらに、この耐久性のある付着性のアルミニナスケールに付着したセラミック断熱被覆を有するニッケル基超合金物品であって、前記組成は、式1：

$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$

により規定されるP条件値が、約2500未満であるこ

とを特徴とする物品。

【請求項5 9】 A1+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5~11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5~17.5の範囲であることを特徴とする請求項5 8記載の物品。

【請求項6 0】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項5 8記載の物品。

【請求項6 1】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項5 8記載の物品。

【請求項6 2】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項5 8記載の物品。

【請求項6 3】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項5 8記載の物品。

【請求項6 4】 Cr 約8~約12%、Al 約4.5~約5.5%、Ti 約1~約2%、W 約3~約5%、Ta 約1.0~約1.4%、Co 約3~約7%、Hf 約0.25~約0.45%、Y 約0.003~約0.040%、Mo 約1%以下、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約1%以下、V 約1%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、

表面の少なくとも一部に耐久性のある付着性のアルミニナスケールを有し、さらに、この耐久性のある付着性のアルミニナスケールに付着したセラミック断熱被覆を有するニッケル基超合金物品であって、前記組成は、式1：

$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする物品。

【請求項6 5】 A1+Ti+0.2Taの値(重量%)が6.5~11.5の範囲、W+0.8Taの値(重量%)が9.5~17.5の範囲であることを特徴とする請求項6 4記載の物品。

【請求項6 6】 Cは0.05%未満、Bは0.005%未満、Zrは0.1%未満であることを特徴とする請求項6 4記載の物品。

【請求項6 7】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項6 4記載の物品。

【請求項6 8】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項6 4記載の物品。

【請求項6 9】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項6 4記載の物品。

【請求項7 0】 Cr 約7.5~約8.2%、Al 約5.45~約5.75%、Ti 約0.8~約1.2%、W 約7.6~約8.4%、Ta 約5.8~約

6. 2%、Co 約4. 3～約4. 9%、Hf 約0. 15～約0. 5%、Y 約0. 003～約0. 040%、Mo 約0. 3～約0. 7%、Re 約1%以下、C 約0. 05%以下、B 約0. 005%以下、Zr 約0. 05%以下、Nb 約1%以下、V 約1%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、表面の少なくとも一部に耐久性のある付着性のアルミナスケールを有し、さらに、この耐久性のある付着性のアルミナスケールに付着したセラミック断熱被覆を有するニッケル基超合金物品であって、前記組成は、式1：  
 $P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする物品。

【請求項7 1】 A1+Ti+0. 2Taの値(重量%)が6. 5～11. 5の範囲、W+0. 8Taの値(重量%)が9. 5～17. 5の範囲であることを特徴とする請求項7 0記載の物品。

【請求項7 2】 Cは0. 05%未満、Bは0. 005%未満、Zrは0. 1%未満であることを特徴とする請求項7 0記載の物品。

【請求項7 3】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項7 0記載の物品。

【請求項7 4】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項7 0記載の物品。

【請求項7 5】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項7 0記載の物品。

【請求項7 6】 Cr 約7～約13%、Al 約4. 5～約6. 7%、Ti 約0. 5～約2%、W 約3～約12%、Ta 約5%以下、Co 約15%以下、Hf 約0. 15～約0. 5%、Y 約0. 003～約0. 040%、Mo 約3. 5%以下、Re 約1%以下、C 約0. 05%以下、B 約0. 005%以下、Zr 約0. 05%以下、Nb 約2%以下、V 約1. 5%以下、残部が実質的にNi、からなる組成を有し、

表面の少なくとも一部に耐久性のある付着性のアルミナスケールを有し、さらに、この耐久性のある付着性のアルミナスケールに付着したセラミック断熱被覆を有するニッケル基超合金物品であって、前記組成は、式1：

$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする請求項7 0記載の物品。

【請求項7 7】 A1+Ti+0. 2Taの値(重量%)が6. 5～11. 5の範囲、W+0. 8Taの値(重量%)が9. 5～17. 5の範囲であることを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項7 8】 Cは0. 05%未満、Bは0. 005%未満、Zrは0. 1%未満であることを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項7 9】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項8 0】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項8 1】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項8 2】 接合被覆のない断熱被覆を有するガス

ターピン構成要素の製造方法であって、

a. Cr 約6～約13%、Al 約4. 5～約7%、

Ti 約0. 5～約2. 5%、W 約3～約12%、Ta

約14%以下、Co 約15%以下、Hf 約0.

05～約1. 5%、Y 約0. 003～約0. 040%

%、Mo 約4%以下、Re 約1%以下、C 約0.

1%以下、B 約0. 05%以下、Zr 約0. 15%以

下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的

にNi、から実質的に構成される組成を有し、式1：

$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$

により規定されるP条件値が、約2500未満であることを特徴とする請求項7 0記載の物品。

【請求項8 3】 前記铸造物は等軸铸造物であることを特徴とする請求項8 2記載の方法。

【請求項8 4】 前記铸造物は柱状粒铸造物であることを特徴とする請求項8 2記載の方法。

【請求項8 5】 前記铸造物は单结晶铸造物であることを特徴とする請求項8 2記載の方法。

【請求項8 6】 前記セラミック断熱被覆は、EBPV

Dによって付着されるとともに、柱状構造を有することを特徴とする請求項8 2記載の方法。

【請求項8 7】 a. Cr 約8～約12%、Al 約4. 5～約5. 5%、Ti 約1～約2%、W 約3～

とを特徴とする物品。

【請求項7 7】 A1+Ti+0. 2Taの値(重量%)が6. 5～11. 5の範囲、W+0. 8Taの値(重量%)が9. 5～17. 5の範囲であることを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項7 8】 Cは0. 05%未満、Bは0. 005%未満、Zrは0. 1%未満であることを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項7 9】 前記物品は単結晶であることを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項8 0】 前記物品は柱状粒構造を有することを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項8 1】 前記物品は等軸粒構造を有することを特徴とする請求項7 6記載の物品。

【請求項8 2】 接合被覆のない断熱被覆を有するガスターピン構成要素の製造方法であって、

a. Cr 約6～約13%、Al 約4. 5～約7%、

Ti 約0. 5～約2. 5%、W 約3～約12%、Ta

約14%以下、Co 約15%以下、Hf 約0.

05～約1. 5%、Y 約0. 003～約0. 040%

%、Mo 約4%以下、Re 約1%以下、C 約0.

1%以下、B 約0. 05%以下、Zr 約0. 15%以

下、Nb 約2%以下、V 約2%以下、残部が実質的

にNi、から実質的に構成される組成を有し、式1：

$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$

により算出されるP条件値が、約2500未満である超合金铸造物を形成し、

b. 前記铸造物の表面を清浄化し、

c. 前記铸造物を低酸素ポテンシャル環境で高温に加熱することで、前記铸造物の清浄表面に耐久性のある付着性のアルミナスケールを形成し、

d. 前記耐久性のある付着性のアルミナスケールに、セラミック断熱被覆を付着する、

ことを含むことを特徴とする方法。

【請求項8 3】 前記铸造物は等軸铸造物であることを特徴とする請求項8 2記載の方法。

【請求項8 4】 前記铸造物は柱状粒铸造物であることを特徴とする請求項8 2記載の方法。

【請求項8 5】 前記铸造物は单结晶铸造物であることを特徴とする請求項8 2記載の方法。

【請求項8 6】 前記セラミック断熱被覆は、EBPV

Dによって付着されるとともに、柱状構造を有することを特徴とする請求項8 2記載の方法。

【請求項8 7】 a. Cr 約8～約12%、Al 約4. 5～約5. 5%、Ti 約1～約2%、W 約3～

11

約5%、Ta 約1.0~約1.4%、Co 約3~約7%、Hf 約0.25~約0.45%、Y 約0.003~約0.040%、Mo 約1%以下、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約1%以下、V 約1%以下、残部が実質的にNi、から実質的に構成される組成を有する単結晶基体と、

b. 前記基体の少なくとも一部に付着した耐久性のある付着性のアルミナスケールと、

c. 前記アルミナスケールに付着したセラミック断熱被覆と、

を有することを特徴とする単結晶超合金ガスタービンエンジンプレード。

【請求項8 8】 前記断熱被覆は柱状微細構造を有することを特徴とする請求項8 7記載のプレード。

【請求項8 9】 a. Cr 約7.5~約8.2%、Al 約5.45~約5.75%、Ti 約0.8~約1.2%、W 約7.6~約8.4%、Ta 約5.8~約6.2%、Co 約4.3~約4.9%、Hf 約0.15~約0.5%、Y 約0.003~約0.040%、Mo 約0.3~約0.7%、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約1%以下、V 約1%以下、残部が実質的にNi、から実質的に構成される組成を有し、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により算出されるP条件値が、約2500未満である単結晶基体と、

b. 前記基体の少なくとも一部に付着した耐久性のある付着性のアルミナスケールと、

c. 前記アルミナスケールに付着したセラミック断熱被覆と、

を有することを特徴とする単結晶超合金ガスタービンエンジンプレード。

【請求項9 0】 前記断熱被覆は柱状微細構造を有することを特徴とする請求項8 9記載のプレード。

【請求項9 1】 a. Cr 約7~約13%、Al 約4.5~約6.7%、Ti 約0.5~約2%、W 約3~約12%、Ta 約5%以下、Co 約1.5%以下、Hf 約0.15~約0.5%、Y 約0.003~約0.040%、Mo 約3.5%以下、Re 約1%以下、C 約0.05%以下、B 約0.005%以下、Zr 約0.05%以下、Nb 約2%以下、V 約1.5%以下、残部が実質的にNi、から実質的に構成される組成を有し、式1：

10

20

30

40

50

12

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 15Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100A1^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

により算出されるP条件値が、約2500未満である単結晶基体と、

b. 前記基体の少なくとも一部に付着した耐久性のある付着性のアルミナスケールと、

c. 前記アルミナスケールに付着したセラミック断熱被覆と、

を有することを特徴とする単結晶超合金ガスタービンエンジンプレード。

【請求項9 2】 前記断熱被覆は柱状微細構造を有することを特徴とする請求項9 1記載のプレード。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、接合被覆なしに断熱被覆(Thermal Barrier Coating)を保持できる低密度耐酸化性超合金材料に関し、特に、このような特性を有するニッケル基超合金組成、その組成を有するニッケル基超合金物品、このような特性を有するガスタービン組成の製造方法、その組成を有する単結晶超合金ガスタービンエンジンプレードに関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 ガスタービンエンジンの進歩とともにない、タービンの作動構成要素を形成する超合金に必要な条件は、増加しつつある。

【0003】 初期のガスタービンエンジンには、保護被覆のない多結晶鋳造タービンエーロフォイルが使用されていた。タービン技術分野では、応力主軸方向に長さ方向を有する細長い結晶粒(elongated grains)からなる柱状粒形態(columnar grain form)で超合金物品を鋳造することで、機械的特性が向上することが見出された。この方法は、横軸方向の粒界数を低減して、構成要素の機械的特性を向上させるものである。また、この当時に始まって、酸化や腐食から構成要素を保護するために保護被覆を使用することが一般的になった。

【0004】 ガスタービン構成要素において次に進歩したのは、単結晶の開発であった。単結晶は、内部粒界がなく、機械的特性が大幅に向上する。より高温で使用するために単結晶合金が開発されるとともに、効果的な保護被覆が要求されるようになった。

【0005】 1980年代に始まって、より高温で作動できるように断熱材を設けてエンジンの最も高温の部分の超合金構成要素を保護するために、セラミック断熱被覆を使用するのが一般的になった。

【0006】米国特許第4, 248, 940号、第4, 321, 311号には、付着性のアルミナ層が形成された接合被覆を使用する断熱被覆が記載されており、このアルミナ層に、セラミック断熱被覆が付着する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】接合被覆を有する断熱被覆は、断熱材として非常に効果的であるが、接合被覆の重量は、構成要素が回転する際、特に、高速回転する最新のエンジンでは、引張り応力の一因となる。また、接合被覆は、中間温度では一般に脆くなることが知られており、この延性の欠如は、エンジン使用中に、早期に熱疲労亀裂が生じる一因となる。

【0008】米国特許第5, 262, 245号には、付着性のアルミナスケール (alumina scale) が形成された超合金を含むセラミック断熱被覆系が記載されており、このアルミナスケールに、中間に接合被覆が介在せずにセラミック断熱被覆が付着する。

【0009】米国特許第4, 209, 348号、第4, 459, 160号、第4, 643, 782号には、単結晶として使用される超合金組成が記載されている。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、ニッケル基超合金基体から構成され、さらに、このニッケル基超合金と断熱被覆系との組み合わせから構成され、この断熱被覆系は、基体のもとの部分 (in situ) に形成された耐久性のある付着性のアルミナスケールと、このアルミナスケールに、中間に接合被覆が介在せずに直接付着されたセラミック断熱層とを含む。

【0011】本発明の超合金は、優れた低繰り返し疲労 (Low Cycle Fatigue) 特性を有する相対的に低密度の合金であり、断熱層は、基体上に形成されたアルミナスケールに、接合被覆を必要とせずに付着する。

【0012】低密度超合金と、接合被覆のない断熱系との組み合わせによって、構成要素の重量が減少することで、回転する適用物内の遠心応力が低下する。これは、構成要素が高速回転で作動する適用では、重要である。

【0013】本発明は、ガスタービン用途、特にガスタービンブレードに、有用である。このようなブレードは、一般に、エーロフォイル部分とルートすなわち取り付け部分とから構成される。

【0014】タービン用エーロフォイルは、高温環境、

例えば約1500°F (約816°C) を超える温度で作動し、通常、内部から冷却される。エンジン性能、耐久性、効率は、冷却されるエーロフォイル部分を断熱することにより、向上させることができる。

【0015】

【発明の実施の形態】特に言及しない限り、組成は、重量%で示す。

【0016】向上した強度と高温特性を示す新型超合金組成が開発されている。しかしながら、これらの新型組成の多くは、組成の密度を増加させるレニウム、モリブデン、タンクステンなどの重い元素を含む。密度のより大きな合金を、最新のタービン設計では一般的なより高速の回転と組み合わせると、可動エーロフォイルの引張り応力が増加する。応力の増加は、タービンブレードのルートすなわち取り付け部分で特に問題となる。

【0017】本発明の主要な態様は、より低密度の等級の超合金が、組成の軽微な改良によって、他の重要な特性は低下せずに、驚くほど、耐酸化性が向上するという発見に基づいている。そのように改良された合金は、付着性と耐久性が大幅に向上したアルミナスケールを形成するとともに、接合被覆を必要としない断熱被覆用の基体として使用するのに適していることが、見出された。

【0018】この発見は、積極的な意味を有する。本発明の超合金は、比較的最近開発された多くの超合金より、実質的に低密度である。さらに、本発明の超合金には必要とされる接合被覆がないので、完成したブレードの重量が、よりいっそう減少し、それによって、エンジンの回転により生じる引張り応力が低下する。他の利点は、TMF (熱機械疲労) 亀裂が、大幅に遅れ、低減し、あるいは抑制されることである。また、中間の接合被覆でなく本発明の超合金 (中間に薄いアルミナスケールを有する) に、TBC (断熱被覆) が直接付着するとき、TBCの耐剥離性が向上することが見出された。

【0019】本発明は、イットリウムとハフニウムを特定の超合金に添加することによって、超合金に耐久性のある付着性の酸化アルミニウム被覆が形成され、この被覆が、基体とセラミック断熱被覆の両方に付着し、それによって、中間の接合被覆が必要でなくなるという発見に基づいている。

【0020】

【表1】

## 本発明の合金組成範囲(重量%)

	広い範囲	中間範囲	好適範囲A	好適範囲B	好適範囲C
C r	6-13	7.0-13	8-12	7.5-8.2	7-13
A l	4.5-7	4.5-7	4.5-5.5	5.45-5.75	4.5-6.7
T i	0.5-2.5	1-2.0	1-2	0.8-1.2	0.5-2
W	3-12	3.0-11	3-5	7.6-8.4	3-12
T a	0-14	0-12.5	10-14	5.8-6.2	0-5
C o	0-15	0-15	3-7	4.3-4.9	0-15
H f	0.05-1.5	0.05-1.5	0.25-0.45	0.15-0.5	0.15-0.5
Y	0.003-0.040	0.003-0.040	0.003-0.040	0.003-0.040	0.003-0.040
N i	残部	残部	残部	残部	残部
M o	0-4	0-3.5	0-1	0.3-0.7	0-3.5
R e	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1
C'	0-0.1	0-0.1	0-0.05	0-0.05	0-0.05
B'	0-0.05	0-0.05	0-0.005	0-0.005	0-0.005
Z r'	0-0.15	0-0.15	0-0.05	0-0.05	0-0.05
N b	0-2	0-2	0-1	0-1	0-2
V	0-2	0-2	0-1	0-1	0-1.5

【0021】表1には、本発明の広い範囲、中間範囲、3つの好ましい範囲が示される。広い範囲と中間範囲には、等軸粒、柱状粒、単結晶粒子を形成するのに適した組成が含まれる。3つの好ましい範囲は、単結晶の適用に最適化される。単結晶の適用では、Cが約0.05%未満、Bが約0.005%未満、Zrが約0.1%未満が、好ましい。表1の範囲は、(A1+Ti+0.2Ta)の値が、好ましくは、約6.5~約11.5、最も好ましくは、約7.0~約10.5であり、一方、(W+0.8Ta)の値が、好ましくは、約9.5~約17.5、最も好ましくは、約10.5~約16.5である。

【0022】本発明の実質的な態様は、注意深く調整された少量のハフニウムとイットリウムをこれらの組成の合金に添加することによって、酸化性条件に曝されると形成されるアルミナスケールの耐久性と付着性が向上することで、実質的に、これらの合金の耐酸化性が向上するという発見に基づいている。低酸素分圧下で制御された熱酸化によって、優れた付着性と耐久性を有するアルミナスケールが得られることが見出されたので、このような熱酸化が使用される。

【0023】アルミナスケールの耐久性と付着性が向上するので、一般に使用される金属製接合被覆は不要になる。本発明の合金中のアルミニウム含有量の相対的な少なさや使用されるYとHf量の少なさを考慮すると、本発明の実施から得られるアルミナスケールに耐久性と付着性の向上が観察されるのは、意外で驚くべきことである。

【0024】米国特許第5,221,336号には、鋳造物中のY量を制御する鋳造技術が記載されている。

【0025】米国特許第4,719,080号には、ニッケル基合金用の広い組成範囲が規定されるとともに、式を用いて算出されるP条件と呼ばれる量が記載されており、これは、高クリープ強度に焦点を当てて特性の最適な組み合わせを得るために、さまざまな元素間の好ましい関係を規定するものである。米国特許第4,719,080号のP条件式を繰り返すと、式1：

$$P = -200Cr + 80Mo^2 - 250Ti^2 - 50(Ti \times Ta) + 1.5Nb + 200W - 14W^2 + 30Ta - 1.5Ta^2 + 2.5Co + 1200Al - 100Al^2 + 100Re + 1000Hf - 2000Hf^2 + 700Hf^3 - 2000V - 500C - 15000B - 500Zr,$$

のようになる。

【0026】P条件は、超合金のクリープ破断(creeper-rupture)特性の良好な指標/予測因子であるが、高いP条件値を得るには、一般に、重い合金元素を使用する必要がある。結果として合金密度が増加すると、作動中に遠心力が増加するので、同時にはLCF(低繰り返し疲労)特性は向上せず、それによって、高いP条件値から生じるクリープ特性の向上も、一部が効果的に相殺されてしまう。

【0027】本発明の合金は、従来の高強度合金に比較して、少量から適量じか重い合金元素を含まず、従つて、より高いP条件値を有する合金に比較して、低密度であり、生じる遠心応力も低下する。さらに、本発明の合金は、TBCを付着するための接合被覆が不要なので、接合被覆の重量が構成要素の重量に加わることから理解されるように、TBCが被覆された構成要素の有効密度が、さらに低下する。

【0028】高強度特性を有する合金用に米国特許第4,719,080号に開示された最小のP条件値は、3360であり、この特許に開示された最大のP条件値は、4700である。

【0029】表1の組成範囲にP条件式を組み込むと、広い範囲に対する最大値は、約2130であり、広い範囲に対する最小値は、-807である。このように、本発明の焦点である組成は、P条件によって、米国特許第4,719,080号から区別することができる。高いLCF強度と低い密度との所望する組み合わせを広く得るために、P条件値は、約2500未満である必要があり、好ましくは、約1800未満である必要がある。

【0030】イットリウムとハフニウムを添加することによって、アルミナスケールと断熱被覆との間の付着性が向上するのは、これらの合金では、意外で驚くべきことである。

【0031】本発明の合金は、耐久性のある付着性のアルミナスケールを形成する。これらの付着性のアルミナスケールによって、次に付着されるセラミック被覆が、確実に、良好に接合するとともに、被覆のない耐酸化性も向上する。

【0032】アルミナスケールは、セラミックTBC層を付着する前に、好ましくは、本発明の合金表面を熱酸化することにより、形成される。酸化は、好ましくは、低酸素ボテンシャル雰囲気で実施される。処理条件は、約-30°F(約-34°C)～約-100°F(約-73°C)の露点を有する水素雰囲気で、1800°F(約982°C)～2100°F(約1149°C)の温度で、1～10時間が、好ましい。特に好ましい熱処理条件は、約1975°F(約1079°C)、約-40°F(約-40°C)の露点で、約4時間である。米国特許出願番号09/274,127号の米国特許出願「セラミック被覆沈積のための表面形成方法」は、参考することによって本願に組み込まれ、この米国特許出願には、好ましい表面形成方法の詳細が記載されている。生成したアルミナスケールの厚みは、約0.2～約2μmであり、好ましくは、約0.5～約1.5μmである。

【0033】本願の開示では、アルミナスケールは、各繰り返しが、2100°F(約1149°C)の火炎に4分間曝すことと、2分間強制空気冷却することからなる燃焼装置での繰り返しに、アルミナスケールの剥離が生じることなく10回、好ましくは100回耐える場合に、耐久性があり付着性があるとして定義される。

【0034】本発明とともに、断熱被覆として使用することができるセラミック被覆は、酸化物セラミック、酸化物セラミックの混合物から構成される。特に、完全にまたは部分的に安定化されたジルコニアを使用することができるが、ここで、安定剤として、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Yb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、これらの混合物、からなる群より選択される酸化物を添加することができる。

【0035】5～20重量%の $\text{Y}_2\text{O}_3$ で安定化されたジルコニアが、工業標準である。セリアに基づく他のセラミックを使用することができるし、パイロクロアセラミック、パイロクロアに近いセラミックも使用することができるが、ここで使用されるパイロクロア化合物 $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ では、Aは、La、Gd、Y、これらの混合物、からなる群より選択され、Bは、Ti、Zr、Hf、これらの混合物、からなる群より選択される。

【0036】TBCは、EBPVD(電子ビーム物理蒸着)、プラズマ溶射法、フレームスプレー法などによって付着することができる。EBPVD付着技術は、回転部品に使用するのに好ましい。米国特許第4,321,311号、第5,262,245号が、参照することによって本願に組み込まれる。米国特許第4,321,311号に記載されているように、EBPVD法により付着されたセラミック被覆は、良好な付着性を促進するとともに、歪み耐性のある有利な柱状微細構造を有する。セラミック被覆の厚みは、通常、3～10mil(76.2～254μm)である。

【0037】本発明の合金被覆系によって、断熱剥離寿命が延びる。

【0038】(実施例1)3組の被覆サンプルに対して、2200°F(約1204°C)で4分間維持することと、強制空気冷却噴流に2分間曝すことからなる燃焼装置での繰り返し試験を行った。

【0039】これらの3組のサンプルは、以下の通りであった。

【0040】1. 上に被せた金属製被覆である5mil(127μm)厚の被覆(米国特許第4,321,311号に記載されている)を有し、さらに、EBPVDによって付着された7%Y安定化ZrO<sub>2</sub>からなる10mil(254μm)厚のTBC層を有する、単結晶合金PWA1484(米国特許第4,719,080号に記載されている)。

【0041】2. EBPVDによって付着された7%Y安定化ZrO<sub>2</sub>からなる10mil(254μm)厚のTBC層を有する、Hf 0.1%とY 100ppmを含む表1の好適範囲Aの単結晶合金。

【0042】3. EBPVDによって付着された7%Y安定化ZrO<sub>2</sub>からなる10mil(254μm)厚のTBC層を有する、Hf 0.35%とY 100ppmを含む表1の好適範囲Aの単結晶合金。

【0043】結果は、以下の通りであった(4つの試験片の平均)。

【0044】1. 100%の相対剥離寿命。

【0045】2. 136%の相対剥離寿命。

【0046】3. 224%の相対剥離寿命。

【0047】本発明によって、従来技術に比較してTBC剥離寿命が延びることが理解され得る。

【0048】本発明の合金は、米国特許第4,719,

080号に記載されているPWA1484などの最近開発されたクリープ強度のより大きな合金に比較して、低密度である。本発明の合金の密度低下は、タービンブレードなどの回転するタービン構成要素にとって、特に重要である。

【0049】いくつかの設計では、タービンブレードは、タービンディスク内に保持されるルート領域のLCF寿命特性によって制約を受ける。密度を考慮すると、本発明の合金（好適範囲A）は、1200°F（約649°C）での切欠きLCF試験にかけたときに、米国特許第4,719,080号の合金より、LCF強度特性が、12.5%大きい。

【0050】また、密度の低下した本発明の合金（好適範囲A）によって、保持しているタービンディスクに掛かる応力が低下する。エンジンの作動中に、ブレードは、ブレード牽引力（blade pull）として一般に知られる効果である、かなりの遠心力をディスクに作用させる。通常の最新のエンジンでは、エンジンの設計、作動条件により、ブレード牽引力は変化するが、以下に示すように、好適範囲Aによって、有利なことは、相対的なブレード牽引力は、9%低下する。

【0051】PWA1484+金属製接合被覆+安定化ジルコニア断熱被覆 = 100%相対ブレード牽引力。

【0052】PWA1480+金属製接合被覆+安定化ジルコニア断熱被覆 = 97.5%相対ブレード牽引力。

【0053】本発明合金（金属製接合被覆なし）+安定化ジルコニア断熱被覆 = 91%相対ブレード牽引力。

【0054】PWA1480の密度は、本発明の好適範囲Aの合金の密度と同じなので、金属製接合被覆を取り除くこと（本発明の利点である）によって、ブレード牽引力が約7%低下し得ることが理解され得る。また、

（接合被覆の重量を考慮すると、）本発明の合金の密度の低下によって、約2.5%ブレード牽引力が低下することも理解され得る。

【0055】このように、本発明によって、エンジン設計上の重要な要素である、ブレード牽引力が実質的に低下する。ブレード牽引力が低下するので、LCF寿命が延びるとともに、設計者は、タービンディスクの大きさと重量を減少させることができる。

【0056】本発明の合金のさらなる別の利点は、作動中の熱機械疲労亀裂に対するTBC被覆ブレードの耐性が向上することである。

【0057】熱機械疲労亀裂は、熱繰り返しの結果として、冷却されたエーロフォイルの基体表面に発生する亀裂から構成される。さらに、熱機械亀裂は、冷却されたブレードの表面と内部との温度差によって促進される。最新の高タービンブレードは、空冷されており、外部表

面温度は、-1600°F（約-871°C）～2000°F（約1093°C）の範囲になり得るが、一方、内部表面温度は、800°F（約427°C）を超える程度である。

【0058】温度と付加応力（ここで応力は、0.25%の歪みを生じるように制御された）の両方を繰り返すことで1900°F（約1038°C）でなされた模擬ブレードサンプルに対する熱機械疲労亀裂の試験において、先に記載した、金属製接合被覆を有するPWA1484合金は、亀裂開始寿命が、同一条件で試験した本発明の合金（好適範囲A）の寿命のわずか3分の1であった。

【0059】従って、従来EBPVD被覆とともに使用されている接合被覆を取り除くことによって、さらなる別の実質的利点が得られることが、理解され得る。

【0060】本発明の合金は、断熱被覆なしで使用することができ、そのように使用するとき、被覆のない耐酸化性を実質的に示す。

【0061】（実施例2）いくつかのサンプルの組に対して、2100°F（約1149°C）の火炎に4分間曝し、続いて、2分間強制空気冷却する、燃焼装置での繰り返し酸化試験を行った。サンプルは、以下の通りであった。

【0062】1. PWA1480（米国特許第4,209,348号）の単結晶サンプル。

【0063】2. PWA1484（米国特許第4,719,080号）の単結晶サンプル。

【0064】3. PWA1487（米国特許第5,262,245号）の単結晶サンプル。

【0065】4. Hf 0.1%とY 100ppmを含む表1の好適範囲Aの組成を有する単結晶サンプル。

【0066】5. Hf 0.35%とY 100ppmを含む表1の好適範囲Aの組成を有する単結晶サンプル。

【0067】結果は、以下の通りであった。

【0068】1. 100%の相対酸化寿命。

【0069】2. 490%の相対酸化寿命。

【0070】3. 2,600%の相対酸化寿命。

【0071】4. 2,080%の相対酸化寿命。

【0072】5. 2,140%の相対酸化寿命。

【0073】本発明の被覆のない酸化寿命は、PWA1480、PWA1484に比較して非常に長く、PWA1487の酸化寿命よりいくぶん短いが、このPWA1487は、機械的特性が、本発明の合金の機械的特性より劣る合金である。

【0074】

【発明の効果】このように、本発明の合金において、実施例1は、断熱被覆の剥離寿命が実質的に延びることを示し、実施例2は、被覆のない耐酸化性が実質的に向上

することを示すが、ここでは、イットリウムとハフニウムを簡単にかつわずかに添加することで、劇的な結果が\*得られている。

---

フロントページの続き

(72)発明者 ディネッシュ ケイ. グプタ  
アメリカ合衆国, コネチカット, サウス  
ワインザー, ワイルドウッド サークル  
29

(72)発明者 アラン ディー. セテル  
アメリカ合衆国, コネチカット, ウエスト  
ハートフォード, フュラー ドライヴ  
90  
F ターム(参考) 3G002 EA05 EA06 EA08  
4K044 AA06 BA12 BA13 BB01 BB03  
CA11 CA12 CA13